

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

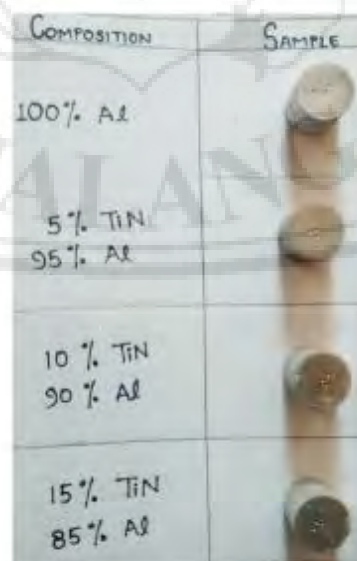
Menurut L. Mahesh (2016), Aluminium (Al) dapat diperkuat dengan Titanium Nitrida (TiN) yang merupakan komposit metal matriks (MMC). Dengan variasi 0%, 5%, 10%, dan 15% berat partikel TiN ditambahkan ke aluminium untuk menjadikan komposit melalui proses metalurgi serbuk. Teknik metalurgi serbuk campuran dipadatkan melalui proses kompaksi dengan variasi tekanan yaitu 250 MPa dan 300 MPa. Spesimen disinter dalam atmosfer nitrogen pada dua suhu sintering yang berbeda yakni suhu 400°C dan 500°C dengan waktu sintering 4 jam untuk masing-masing.

Tabel 2.1 spesifikasi serbuk aluminium

Parameters	Particle size	Atom weight	Arsenic	Lead	Iron
Spesification	74 μm	26,98	0,0005%	0.03%	0,5%

Tabel 2.2 Spesifikasi serbuk TiN

Parameters	Particle size	Molecular weight	Melting point	Density
Spesification	<3 μm	61,87 g/mol	2930°C	5.24 gr/cc



Gambar 2.1 Sampel komposit Al-TiN yang dipadatkan dan disinter

Dari hasil sintering menunjukkan bahwa spesimen mengalami penyusutan dari sebelum disinter. pengujian kekerasan dengan metode Brinell yang dilakukan menunjukkan bahwa kekerasan komposit dengan TiN 10% ditemukan 17% lebih tinggi dari pada spesimen aluminium yang tidak diperkuat dengan TiN. Telah diamati bahwa komposit Al-TiN yang diberi tekanan 300 MPa dengan sintering pada suhu 450°C selama 4 jam memiliki kekerasan yang lebih tinggi.



Gambar 2.2 Mikrostruktur komposit Al-TiN

Mikrostruktur dilakukan untuk menganalisis ukuran butir dan melihat distribusi seragam pada partikel TiN. Pada Gambar 2.2 menunjukkan struktur mikro komposit Al-TiN pada perbesaran 50X telah diamati dan hasil distribusi TiN tersebut seragam.

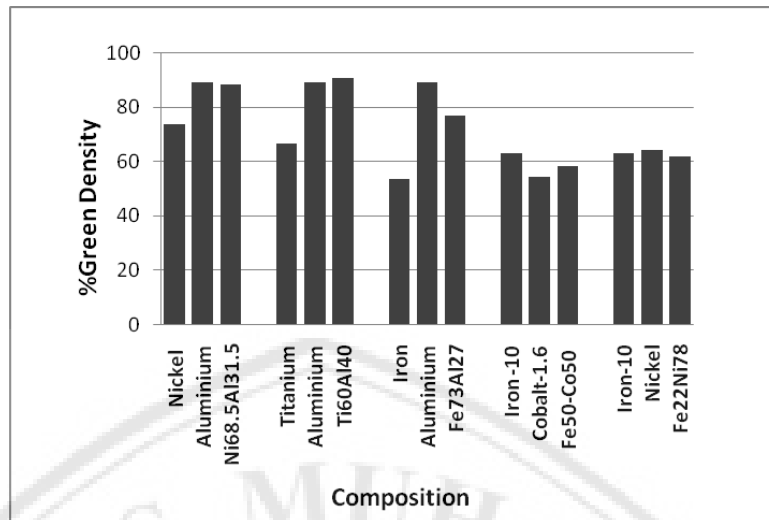
Suresh (2015) melakukan penelitian menggunakan serbuk Besi, Cobalt, Nikel, Aluminium dan Titanium yang dikompaksi dengan mesin press hidrolik

10 Ton ganda akting uni-aksial dan menggunakan cetakan stainless steel. Kepadatan spesimen tersebut menggunakan rasio berat atau volume. Diameter spesimen adalah 25 mm dengan ketebalan 12 mm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3



Gambar 2.3 Hasil spesimen yang telah dikompaksi

Bubuk morfologi sangat tergantung pada proses diadopsi untuk mensintesis serbuk. Gambar 3 menunjukkan mikroskop SEM dari serbuk besi, yang digunakan dalam penelitian ini, dengan berbagai ukuran partikel rata-rata (APS). Besi bubuk dengan APS dari <10 mikron diproduksi menggunakan proses atomisasi dan karenanya memiliki bentuk bulat. Besi bubuk dengan APS dari 50 mikron yang diproduksi menggunakan proses reduksi kimia dan karena itu memiliki bentuk acicular. Demikian pula, serbuk besi dengan <2 mikron diproduksi menggunakan teknik elektrolisis dan karenanya memiliki morfologi serpihan. Besi dengan APS dari 150 mikron adalah bulat dan diproduksi menggunakan teknik dikabutkan.



Gambar 2.4 Pengaruh pencampuran elemental serbuk terhadap green density

Gambar 2.4 menunjukkan grafik batang kepadatan atau density sebagai fungsi komposisi. Nial, TiAl dan FeAl menunjukkan kepadatan lebih tinggi bila dibandingkan dengan FeCo dan FeNi. Terutama karena fase alumunium yang lunak. Kepadatan dari campuran serbuk unsur tidak selalu mengikuti aturan campuran untuk penentuan kepadatan. Komposisi serbuk unsur memiliki pengaruh kuat daripada kepadatan individual dari bahan.

Sifat-sifat dan kinerja dari bagian metalurgi serbuk secara langsung berhubungan dengan kepadatan atau density karena tinggi kompaksi serbuk merupakan langkah pertama yang penting. Untuk partikel serbuk dikisaran mikron, tekanan dan komposisi bahan merupakan faktor dominan yang mempengaruhi kepadatan. Ukuran partikel dan distribusi ukuran faktor berpengaruh kecil pada kepadatan.

2.2 Intermetallic Bonding

Menurut Imam (2014), Senyawa adalah gabungan dari beberapa unsur dengan perbandingan tertentu dan tetap. Senyawa mempunyai sifat dan struktur yang sama sekali berbeda dari unsur unsur pembentuknya. Senyawa juga mempunyai titik lebur dan titik beku yang tetap, seperti pada logam murni. Ada tiga macam senyawa yang sering dijumpai, yaitu:

a. Senyawa Intermetalik

Senyawa yang terbentuk dari dua logam yang sifat kimianya sangat berbeda dan kombinasinya mengikuti aturan valensi kimia. Ikatan atom-atomnya sangat kuat (ionik atau kovalen), sehingga sifatnya seperti non-metal, keuletan rendah, konduktifitas listrik juga rendah dan struktur kristalnya kompleks. Contohnya: CaSe , Mg_2Pb , Mg_2Sn , Cu_2Se .

b. Senyawa Interstisi

terbentuk dari logam logam transisi seperti Scandium (Sc), Titanium (Ti), Tantalum (Ta), Wolfram (W), dan besi (Fe) dengan H, O, C, B dan N. Kelima unsur ini diameter atomnya sangat kecil sehingga dapat masuk ke dalam kisi kristal logam di atas secara interstisi. Senyawa interstisi bersifat metalik, komposisi kimia mungkin dapat bervariasi dalam daerah yang sempit, titik leburnya tinggi dan sangat keras. Contohnya: Fe_3C , TiC , TaC , W_2C , Fe_4N , CrN , TiH .

c. Senyawa electron

terbentuk diantara logam logam Cu, Au, Ag, Fe, dan Ni dengan Cd, Mg, Sn, Zn, dan Al. Senyawa ini terjadi dengan komposisi kimia sedemikian rupa sehingga mendekati perbandingan jumlah elektron valensi dengan jumlah atom yang tertentu. Senyawa ini sifatnya sudah mendekati larutan

padat, seperti komposisi yang bervariasi, keuletan tinggi, kekerasan rendah.
AgCd, AgZn, AuMg, FeAl, Cu₂Sn, Ag₂Cd

2.3 Fabrikasi Serbuk Logam

Proses fabrikasi serbuk logam yang berbeda akan menghasilkan sifat-sifat serbuk logam yang berbeda pula. Hampir semua bahan dapat di proses menjadi serbuk logam, tetapi untuk menentukan proses apa yang akan dipakai akan sangat tergantung kepada tingkat pemahaman proses, faktor ekonomis, karakteristik serbuk logam yang didapat, dan kecocokan karakteristik serbuk logam tersebut dengan produk yang dibuat. Empat katagori utama proses fabrikasi serbuk logam tersebut adalah metode mekanik, reaksi kimia, deposisi elektrolitik, dan atomisasi logam cair.

Pada metode mekanik ada empat proses dasar yang termasuk kedalam kategori *mechanical comminution* yaitu *impaction*, *attritioning*, *shearing*, dan *compression*. *Impaction* berhubungan dengan proses pembentukan serbuk dengan pemberian beban yang tiba-tiba terhadap material yang menyebabkan retakan dan menyebabkan pengurangan ukuran partikel. *Attritioning* berhubungan dengan pengurangan ukuran partikel dengan memakai metode erosi atau pengikisan. *Shearing* berhubungan dengan pengurangan partikel dengan memakai prinsip kegagalan material akibat geseran. Dan *compression* berhubungan dengan gaya tekan yang dapat memecahkan material menjadi partikel-partikel kecil. Serbuk logam yang diproduksi dengan metode ini mempunyai bentuk yang tidak teratur.

2.4 Metalurgi Serbuk

Metalurgi serbuk merupakan proses pembentukan benda kerja komersial dari logam dimana logam dihancurkan dahulu berupa tepung, kemudian tepung tersebut ditekan didalam cetakan (*mold*) dan dipanaskan di bawah temperatur leleh serbuk sehingga terbentuk benda kerja. Sehingga partikel-partikel logam memadu karena mekanisme transportasi massa akibat difusi atom antar permukaan partikel. Metode metalurgi serbuk memberikan kontrol yang teliti terhadap komposisi dan penggunaan campuran yang tidak dapat difabrikasi dengan proses lain. Sebagai ukuran ditentukan oleh cetakan dan penyelesaian akhir (*finishing touch*). Langkah-langkah dasar pada *powder metallurgy* :

1. Pembuatan serbuk.
2. *Mixing*.
3. *Compaction*.
4. *Sintering*.
5. *Finishing*.

2.4.1 Pembuatan serbuk

Ada beberapa cara dalam pembuatan serbuk antara lain :

1. *Decomposition*, terjadi pada material yang berisikan elemen logam. Material akan menguraikan/memisahkan elemen-elemennya jika dipanaskan pada temperature yang cukup tinggi. Proses ini melibatkan dua reaktan, yaitu senyawa metal dan reducing agent. Kedua reaktan mungkin berwujud solid, liquid, atau gas.
2. *Atomization of Liquid Metals*, material cair dapat dijadikan powder (serbuk) dengan cara menuangkan material cair dilewatkan pada

nozzel yang dialiri air bertekanan, sehingga terbentuk butiran kecil-kecil.

3. *Electrolytic Deposition*, pembuatan serbuk dengan cara proses elektrolisis yang biasanya menghasilkan serbuk yang sangat reaktif dan brittle. Untuk itu material hasil electrolytic deposition perlu diberikan perlakuan annealing khusus. Bentuk butiran yang dihasilkan oleh electolitic deposits berbentuk dendritik.
4. *Mechanical Processing of Solid Materials*, pembuatan serbuk dengan cara menghancurkan material dengan ball milling. Material yang dibuat dengan Mechanical processing harus material yang mudah retak seperti logam murni, bismuth, antimony, paduan logam yang relative keras dan brittle, dan keramik.

Sifat-Sifat Khusus Serbuk Logam

1. Ukuran Partikel

Metoda untuk menentukan ukuran partikel antara lain dengan pengayakan atau pengukuran mikroskopik. Kehalusan berkaitan erat dengan ukuran butir. Faktor ini berhubungan dengan luas kontak antar permukaan, butir kecil mempunyai porositas yang kecil dan luas dan kontak antar permukaan besar sehingga difusi antar permukaan juga semakin besar dan kompaktibilitas juga tinggi.

Tabel 2.3 Standart ukuran butir

US standart, mesh	European standart (FEPA standart)	Main fraction grain sizes, micrometers
100/120	D 151	150-125
120/140	D 126	125-106
140/170	D 107	106-90
170/200	D 91	90-75
200/230	D 76	75-63

230/270	D 64	63-53
270/325	D 54	53-45
325/400	D 46	45-38

2. Distribusi Ukuran dan Mampu Alir

Dengan distribusi ukuran partikel ditentukan jumlah partikel dari ukuran standar dalam serbuk tersebut. Pengaruh distribusi terhadap mampu alir dan porositas produk cukup besar. Mampu alir merupakan karakteristik yang menggambarkan alir serbuk dan kemampuan memenuhi ruang cetak.

3. Sifat Kimia

Terutama menyangkut kemurnian serbuk, jumlah oksida yang diperbolehkan dan kadar elemen lainnya. Pada metalurgi serbuk diharapkan tidak terjadi reaksi kimia antara matrik dan penguat.

4. Kompresibilitas

Kompresibilitas adalah perbandingan volum serbuk dengan volum benda yang ditekan. Nilai ini berbeda-beda dan dipengaruhi oleh distribusi ukuran dan bentuk butir, kekuatan tekan tergantung pada kompresibilitas.

5. Kemampuan *sinter*

Sinter adalah prose pengikatan partikel melalui proses penekanan dengan cara dipanaskan 0.7-0.9 dari titik lelehnya.

2.4.2 *Mixing* (pencampuran serbuk)

Pencampuran serbuk dapat dilakukan dengan mencampurkan logam yang berbeda dan material-material lain untuk memberikan sifat fisik dan mekanik yang lebih baik. Pencampuran dapat dilakukan dengan proses

kering (*dry mixing*) dan proses basah (*wet mixing*). Pelumas (*lubricant*) mungkin ditambahkan untuk meningkatkan sifat *powders flow*. Binders ditambahkan untuk meningkatkan *green strenghtnya* seperti *wax* atau polimer termoplastik.

2.4.3 Compaction (Powder consolidation)

Compaction adalah salah satu cara untuk memadatkan serbuk menjadi bentuk yang diinginkan. Terdapat beberapa metode penekanan, diantaranya, penekanan dingin (*cold compaction*) dan penekanan panas (*hot compaction*). *Cold compaction* yaitu memadatkan serbuk pada temperatur ruang dengan 100-900 Mpa untuk menghasilkan *green body*.

Proses cold pressing terdapat beberapa macam antara lain :

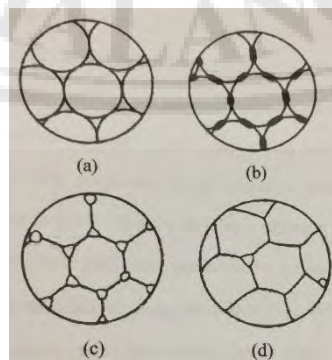
1. *Die Pressing*, yaitu penekanan yang dilakukan pada cetakan yang berisi serbuk.
2. *Cold isotactic pressing*, yaitu penekanan pada serbuk pada temperatur kamar yang memiliki tekanan yang sama dari setiap arah.
3. *Rolling*, yaitu penekanan pada serbuk metal dengan memakai *rolling mill*.

Penekanan terhadap serbuk dilakukan agar serbuk dapat menempel satu dengan lainnya sebelum ditingkatkan ikatannya dengan proses *sintering*. Dalam proses pembuatan suatu paduan dengan metode metalurgi serbuk, terikatnya serbuk sebagai akibat adanya *interlocking* antar permukaan, interaksi adesi-koheesi, dan difusi antar permukaan. Untuk yang terakhir ini (difusi) dapat terjadi pada saat dilakukan proses *sintering*. Bentuk benda yang dikeluarkan dari *pressing* disebut bahan

kompak mentah, telah menyerupai produk akhir, akan tetapi kekuatannya masih rendah. Kekuatan akhir bahan diperoleh setelah proses *sintering*.

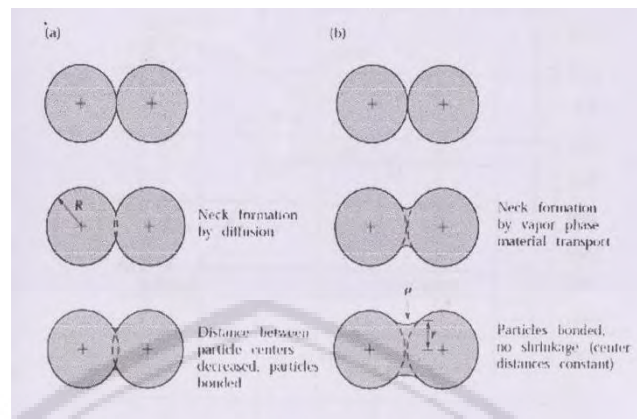
2.4.4 Sintering

Pemanasan kompak mentah sampai temperatur tinggi disebut *sinter*. Pada proses *sinter*, benda padat terjadi karena terbentuk ikatan-ikatan. Panas menyebabkan bersatunya partikel dan efektivitas reaksi tegangan permukaan meningkat. Dengan perkataan lain, proses *sinter* menyebabkan bersatunya partikel sedemikian rupa sehingga kepadatan bertambah. Selama proses ini terbentuklah batas-batas butir, yang merupakan tahap rekristalisasi. Disamping itu gas yang ada menguap. Temperatur *sinter* umumnya berada pada 0.7-0.9 dari temperatur cair serbuk utama. Waktu pemanasan berbeda untuk jenis logam berlainan dan tidak diperoleh manfaat tambahan dengan diperpanjangnya waktu pemanasan. Lingkungan sangat berpengaruh karena bahan mentah terdiri dari partikel kecil yang mempunyai daerah permukaan yang luas. Oleh karena itu lingkungan harus terdiri dari gas reduksi atau nitrogen untuk mencegah terbentuknya lapisan oksida pada permukaan selama proses *sinter*.



Gambar 2.5 Skema proses sintering serbuk logam

a) Green compact (b) Necks formed (c) Pore size reduce (d) Full sintered



Gambar 2.6 Skema proses sintering serbuk logam

(a) solid-state (b) liquid-phase material

R : radius partikel, r : neck radius, p : neck profile radius

Meningkatnya ikatan setelah proses sintering ini disebabkan timbulnya liquid bridge atau necking, sehingga porositas berkurang dan bahan menjadi lebih kompak. Ukuran serbuk juga berpengaruh terhadap kompaktibilitas bahan, semakin kecil ukuran serbuk maka porositas kecil dan luas kontak permukaan antar butir semakin luas (Teknik material dan metalurgi, 2007).

Peningkatan waktu tahan sinter memberikan pengaruh terhadap sifat mekanik yang hampir sama dengan kenaikan temperatur sinter, tetapi tidak sebesar pengaruh yang dihasilkan oleh peningkatan temperatur sinter. Semakin tinggi waktu tahan sinter, temperatur sinter, dan green density maka densitas produk hasil proses sinter akan semakin tinggi pula. Namun, kerugian akibat meningkatnya waktu tahan sinter ialah meningkatnya persentase penyusutan, pertumbuhan butir, dan juga meningkatnya biaya proses. Untuk material komposit, waktu tahan sinter yang digunakan adalah waktu tahan sinter dari matriks. Kisaran waktu

tahan sinter untuk material komposit aluminium adalah 30-90 menit. Prasetyo (2004).

Pemilihan waktu sintering sangat berpengaruh terhadap karakteristik suatu komposit. Suyanto (2007) melakukan kajian experimental, pengaruh waktu *sintering* terhadap sifat fisik dan mekanik komposit plastik (HDPE, PET). Hasil penelitian disimpulkan bahwa dengan variasi penambahan waktu sintering dari 5, 10, 15, dan 20 menit terjadi peningkatan sifat fisik (densitas, penyusutan) dan mekanik (kekuatan impak, kekuatan lentur) dimana peningkatan maksimum terjadi pada penambahan waktu 10 menit.

Penggunaan atmosfer sinter bertujuan untuk mengontrol reaksi-reaksi kimia yang terjadi antara bakalan dengan lingkungannya. Di samping itu, penggunaan atmosfer sinter juga bertujuan untuk mengontrol atau melindungi logam dari oksidasi selama proses sinter berlangsung. Gas-gas yang tidak diinginkan dalam atmosfer sinter tidak hanya dapat bereaksi pada permukaan luar bakalan saja, tetapi juga dapat berpenetrasi ke struktur pori dan bereaksi ke dalam permukaan bakalan. Atmosfer yang mengandung unsur pereduksi biasanya digunakan pada proses sinter dengan tujuan memisahkan oksida-oksida yang terbentuk, serta mendorong terjadinya proses sinter dengan cara membersihkan dan sangat aktif pada permukaan partikel serbuk. Terdapat enam jenis atmosfer yang dapat digunakan untuk melindungi bakalan, yakni hidrogen, amoniak, gas inert, nitrogen, vakum, dan gas alam. Sebagai contoh, atmosfer vakum sering di gunakan sebagai atmosfer sinter karena

prosesnya bersih dan kontrol atmosfer mudah. Atmosfer hidrogen juga disukai karena kemampuannya untuk mereduksi oksida dan menghasilkan atmosfer dekarburisasi untuk logam ferrous. Gas-gas inert seperti argon dan helium juga digunakan karena tidak bereaksi dengan bakalan.

Pengontrolan atmosfer merupakan hal yang cukup penting selama proses sinter berlangsung. Namun bukan hanya atmosfer yang dapat menyebabkan terjadinya reaksi kimia, tetapi juga serbuk yang telah dikompaksi biasanya terkontaminasi oleh oksida-oksida, karbon, dan gas-gas yang terperangkap, sehingga ketika dilakukan pemanasan terjadi perubahan komposisi atmosfer sinter.(Dhian, 2008)

2.5 Aluminium

Aluminium ditemukan oleh Sir Humphrey Davy dalam tahun 1809 sebagai suatu unsur dan pertama kali direduksi sebagai logam oleh H . C. Oersted, tahun 1825. Secara industri tahun 1886, Paul Heroult di Perancis dan C . M. Hall di Amerika Serikat secara terpisah telah memperoleh logam aluminium dari alumina dengan cara elektrolisis dari garam yang terfusi. Sampai sekarang proses Heroult Hall masih dipakai untuk memproduksi aluminium. Penggunaan aluminium sebagai logam setiap tahunnya adalah urutan yang kedua setelah besi dan baja, yang tertinggi di antara logam non ferro.

Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik dan sifat – sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam. Sebagai tambahan terhadap, kekuatan mekaniknya yang

sangat meningkat dengan penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dsb. Secara satu persatu atau bersamasama, memberikan juga sifat-sifat baik lainnya seperti ketahanan korosi, ketahanan aus, koefisien pemuaian rendah. Material ini dipergunakan di dalam bidang yang luas bukan saja untuk peralatan rumah tangga tapi juga dipakai untuk keperluan material pesawat terbang, mobil, kapal laut, konstruksi.

2.5.1 Sifat-sifat Aluminium

Aluminium merupakan unsur kimia golongan IIIA dalam sistim periodik unsur, dengan nomor atom 13 dan berat atom 26,98 gram per mol. Struktur kristal aluminium adalah struktur kristal FCC, sehingga aluminium tetap ulet meskipun pada temperatur yang sangat rendah. Keuletan yang tinggi dari aluminium menyebabkan logam tersebut mudah dibentuk atau mempunyai sifat mampu bentuk yang baik. Aluminium memiliki beberapa kekurangan yaitu kekuatan dan kekerasan yang rendah bila dibanding dengan logam lain seperti besi dan baja. Aluminium memiliki karakteristik sebagai logam ringan dengan densitas $2,7 \text{ g/cm}^3$ dan titik leburnya berada pada $660,3^\circ\text{C}$.

Selain sifat-sifat tersebut aluminium mempunyai sifat-sifat yang sangat baik dan bila dipadu dengan logam lain bisa mendapatkan sifat-sifat yang tidak bisa ditemui pada logam lain. Adapun sifat-sifat dari aluminium antara lain : ringan, tahan korosi, penghantar panas dan listrik yang baik. Sifat tahan korosi pada aluminium diperoleh karena terbentuknya lapisan oksida aluminium pada permukaan aluminium. Lapisan oksida ini melekat pada permukaan dengan kuat dan

rapat serta sangat stabil (tidak bereaksi dengan lingkungannya) sehingga melindungi bagian yang lebih dalam. Adanya lapisan oksida ini disatu pihak menyebabkan tahan korosi tetapi di lain pihak menyebabkan aluminium menjadi sukar dilas dan disolder (titik didihnya lebih dari 2000° C). Sifat fisik dan mekanik aluminium dapat dilihat pada Tabel 2.4 dan Tabel 2.5.

Tabel 2.4 Sifat-sifat fisik Aluminium

Sifat-Sifat	Kemurnian Aluminium (%)	
	99,996	>99,0
Massa jenis (20° C)	2,6968	2,71
Titik cair	660,2	653-657
Panas jenis (cal/g . °C) (100° C)	0,2226	0,229
Tahanan listrik (%)	64,94	59
Hantaran listrik koefisien temperature (/°C)	0,00429	0,0115
Koefisien pemuaian (20 – 100° C)	23,86x10 ⁻⁶	23,5x10 ⁻⁶
Jenis Kristal, konstanta kisi	<i>fcc</i> , a=4,013 kX	<i>fcc</i> , a=4,04 Kx

Tabel 2.5 Sifat-sifat mekanik Aluminium

Sifat-sifat	Kemurnian Aluminium (%)			
	99,996		>99,0	
	Dianil	75% dirol dingin	Dianil	H18
Kekuatan tarik (kg/mm ²)	4,9	11,6	9,3	16,9
Kekutan mulur (0,2%) (kg/mm ²)	1,3	11,0	3,5	14,8
Perpanjangan (%)	48,8	5,5	35	5
Kekerasan Brinell	17	27	23	44

2.6 Titanium

Titanium adalah unsur logam dalam kelompok IV B Susunan Berkala Unsur dengan nomor atom 22, yang ber lambang Ti. Titanium memiliki berat atom 47,90, valensi 2, 3, 4, nilai kekerasan Vicker 80-100 dan memiliki lima isotop serta tahan terhadap korosi air laut. (Basri, 2005).

Logam titanium berwarna putih metalik keperakan. Titanium digunakan dalam campuran logam yang bersifat kuat dan ringan, serta banyak dipadukan dengan besi dan aluminium. (Aini, 2013).

Titanium murni dapat larut dalam larutan asam pekat, misalnya pada larutan asam sulfat, tetapi tidak larut dalam air. Logam titanium sangat rapuh pada suhu rendah, tetapi dapat ditempa dan dibentuk ketika sedikit dipanaskan. Titanium dapat terbakar di udara pada suhu 610°C dan membentuk titanium dioksida, serta terbakar dalam nitrogen pada suhu 800°C dan membentuk titanium nitrida.

Titanium juga dapat membentuk beberapa senyawa garam seperti titanium tetraklorida (TiCl_4), titanium triklorida (TiCl_3) dan titanium diklorida (TiCl_2). Di alam, titanium tidak ditemukan dalam keadaan bebas tetapi dalam senyawa-senyawa pada mineral-mineral seperti menachanite, ilmenite (FeTiO_3), rutile (TiO_2) dan sphene ($\text{CaO} \cdot \text{TiO}_2 \cdot \text{SiO}_2$) (Sunardi, 2006).

Tabel 2.6 Sifat-sifat fisik Ti6Al4V

Property	Typical Value
Density g/cm ³ (lb/ cu in)	4.42 (0.159)
Melting Range °C±15°C (°F)	1649 (3000)
Specific Heat J/kg.°C (BTU/lb/°F)	560 (0.134)
Volume Electrical Resistivity ohm.cm (ohm.in)	170 (67)
Thermal Conductivity W/m.K (BTU/ft.h.°F)	7.2 (67)
Mean Co-Efficient of Thermal Expansion 0-100°C /°C (0-212°F /°F)	8.6x10 ⁻⁶ (4.8)
Mean Co-Efficient of Thermal Expansion 0-300°C /°C (0-572°F /°F)	9.2x10 ⁻⁶ (5.1)
Beta Transus °C±15°C (°F)	999 (1830)

Tabel 2.7 Sifat-sifat mekanik Ti6Al4V

Property	Minimum	Typical Value
Tensile Strength MPa (ksi)	897 (130)	1000 (145)
0.2% Proof Stress MPa (ksi)	828 (120)	910 (132)
Elongation Over 2 Inches %	10	18
Reduction in Area %	20	
Elastic Modulus GPa (Msi)		114 (17)
Hardness Rockwell C		36
Specified Bend Radius <0.070 in x Thickness		4.5
Specified Bend Radius >0.070 in x Thickness		5.0
Welded Bend Radius x Thickness	6	
Charpy, V-Notch Impact J (ft.lbf)		24 (18)

2.7 Kekerasan

Kekerasan suatu material menyatakan kemampuan material tersebut untuk menahan deformasi plastis. Kekerasan didefinisikan sebagai ketahanan material terhadap penetrasi pada permukaannya. Dapat diperkirakan bahwa terdapat hubungan antara kekerasan dan kekuatan bahan.

Pengujian kekerasan adalah satu dari sekian banyak pengujian yang di pakai, karena dapat dilaksanakan pada benda uji yang kecil tanpa kesukaran mengenai spesifikasi. Kekerasan dari suatu metal diukur dengan memberikan beban dengan menggunakan indentor ke dalam permukaan material tersebut. Bentuk dari indentor pada umumnya peluru/bola, piramida, atau kerucut, dibuat dari material yang lebih keras dibanding material yang diuji. Sebagai contoh, baja yang dikeraskan, karbit tungsten, atau intan yang biasanya digunakan untuk indenters. Pengujian kekerasan sangat sederhana, sehingga banyak dilakukan dalam pemilihan bahan. Ada beberapa macam metode pengujian kekerasan yang dipergunakan, disesuaikan dengan bahan, kekerasan, ukuran dan lain-lain.

Uji kekerasan Rockwell merupakan salah satu metode pengujian kekerasan dengan pembacaan langsung pada direct-reading. Variasi beban dan indentor yang digunakan menjadikan metode ini memiliki banyak macam. Indentor terbuat dari baja yang diperkeras berbentuk bola dan ada juga berbentuk kerucut intan. Indentor bola mempunyai ukuran diameter masing-masing 1,588, 3,175, 6,350 dan 12,70 mm. Sedangkan beban yang tersedia adalah 10, 60, 100 dan 150 kg.

Tabel 2.8 Skala kekerasan pada metode Rockwell

Skala	Penekanan	Beban	Dial
A	Intan	60	Hitam
B	Bola baja 1/16"	100	Merah
C	Intan	150	Hitam
D	Intan	100	Hitam
E	Bola baja 1/8"	100	Merah
F	Bola baja 1/16"	60	Merah
G	Bola baja 1/16"	150	Merah
H	Bola baja 1/8"	60	Merah
K	Bola baja 1/8"	150	Merah
L	Bola baja 1/4"	60	Merah
M	Bola baja 1/4"	100	Merah
P	Bola baja 1/4"	150	Merah
R	Bola baja 1/2"	60	Merah
S	Bola baja 1/2"	100	Merah
V	Bola baja 1/2"	150	Merah

Pada tabel 2.8 menampilkan simbol skala, ukuran bola serta beban pada pengujian Rockwell. Angka kekerasan Rockwell disimbolkan dengan HR. Penulisan angka kekerasan dan simbol skala di contohkan sebagai berikut 80 HRB melambangkan angka kekerasan 80 pada skala B (Callister, 2001).

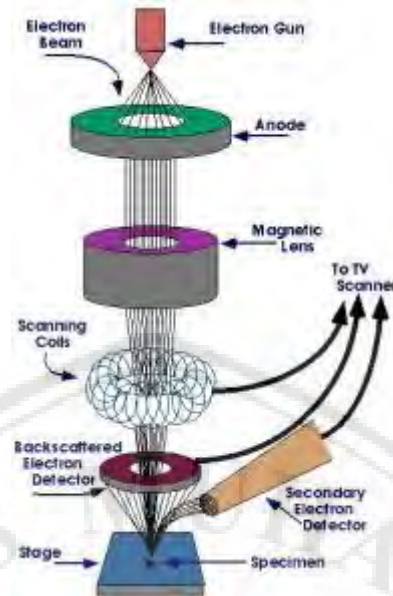
Ukuran kekerasan untuk kedalaman dari indentasi disebabkan oleh beban besar yang bisa diamati dengan skala pengukur, angka penunjuk naik sesuai dengan kekerasan. Indentor yang dipakai adalah bola baja keras atau kerucut intan yang disebut konis berpuncak. Pemakaian indentor tergantung dari kekerasan logam yang akan diuji (Ir. Suharto, 1995).

2.8 Scanning Electron Microscope (SEM)

Scanning Electron Microscope (SEM) merupakan salah satu tipe mikroskop elektron yang mampu menghasilkan resolusi tinggi dari gambaran suatu permukaan sampel. Oleh karena itu gambar yang dihasilkan oleh SEM mempunyai karakteristik secara kualitatif dalam dua dimensi karena

menggunakan elektron sebagai pengganti gelombang cahaya serta berguna untuk menentukan permukaan sampel. Material yang dikarakterisasi SEM yaitu berupa lapisan tipis yang memiliki ketebalan 20 μm dari permukaan. Gambar topografi permukaan berupa tonjolan, lekukan dan ketebalan lapisan tipis dari penampang melintangnya (Mulder, 1996). SEM atau mikroskop elektron ini memfokuskan sinar elektron (*electron beam*) dipermukaan obyek dan mengambil gambar dengan mendeteksi elektron yang muncul pada permukaan obyek. Perbedaan tipe yang berbeda dari SEM memungkinkan penggunaan yang berbeda dari SEM memungkinkan penggunaan yang berbeda-beda antara lain untuk studi morfologi, analisis komposisi dengan kecepatan tinggi, kekasaran permukaan, porositas, distribusi ukuran partikel, homogenitas material atau untuk studi lingkungan tentang masalah sensitifitas material (Sitorus, 2009).

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan mikroskop elektron yang dapat digunakan untuk mengamati morfologi permukaan dalam skala mikro dan nano. Teknik analisis SEM menggunakan elektron sebagai sumber pencitraan dan medan elektromagnetik sebagai lensa. SEM yang dilengkapi dengan *Energy Dispersive X-ray* (EDX) dapat mengetahui struktur mikro serbuk material yang dihasilkan dalam penelitian ini.



Gambar 2.7 Prinsip Dasar SEM

2.9 Bentuk Butiran dan tekstur Permukaan

Bentuk butiran dan tekstur permukaan mempengaruhi stabilitas dari lapisan perkerasan yang dibentuk serbuk tersebut. Adapun partikel agregat dapat dibedakan menjadi beberapa bentuk :

a. Bulat (*Rounded*)

Partikel serbuk bulat saling bersentuhan dengan luas bidang kontak kecil sehingga menghasilkan *interlocking* yang lebih kecil dan lebih mudah tergelincir.

b. Lonjong (*Elongated*)

Partikel serbuk dapat dikatakan lonjong jika ukuran terpanjangnya $> 1,8$ kali diameter rata – rata. Indeks kelonjongan (*elengated index*) adalah perbandingan dalam persen dari berat serbuk lonjong terhadap berat total. Sifat *interlocking*nya hampir sama dengan yang berbentuk bulat.

c. Kubus (*Cubical*)

Partikel berbentuk kubus merupakan bentuk serbuk hasil dari mesin pemecah (crusher) yang mempunyai bidang kontak yang lebih luas, berbentuk bidang rata sehingga memberikan *interlocking* / saling mengunci yang lebih besar. Dengan demikian kestabilan yang diperoleh lebih besar dan lebih tahan terhadap deformasi yang timbul.

d. Pipih (*Flaky*)

Partikel serbuk berbentuk pipih dapat merupakan hasil dari mesin pemecah (crusher) ataupun memang merupakan sifat dari material tersebut yang jika di pecah cenderung berbentuk pipih. Partikel pipih yaitu partikel yang lebih tipis dari 0,6 kali diameter rata – rata. Indeks kepipihan (*flaskiness index*) adalah berat total partikel yang lolos slot dibagi dengan berat total partikel yang tertahan pada ukuran nono tertentu. Partikel berbentuk pipih mudah pecah pada waktu pencampuran, pemadatan, ataupun akibat beban, oleh karena itu banyaknya partikel pipih ini dibatasi dengan menggunakan nilai indeks kepipihan yang disyaratkan.

e. Tak Beraturan (*Irregular*)

Partikel serbuk yang tidak beraturan, tidak mengikuti salah satu yang disebutkan diatas. (Silvi Sukirman, 2003)